

Machine à courant continu : Constitution et fonctionnement



**Lycée du Hainaut
Mathématiques spéciales TSI
2005/2006**

▶ I. Principe physique et mise en oeuvre technologique

▶ II. Constitution

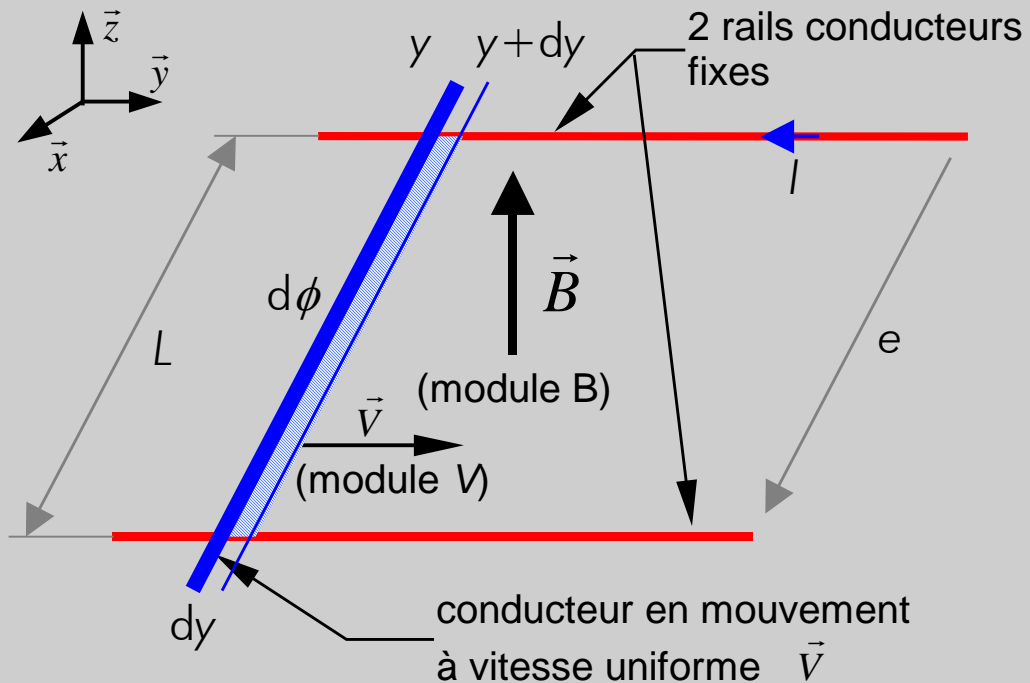
- II.1 Description générale
- II.2 Constitution de l'inducteur
- II.3 Constitution de l'induit
 - Expression de la f.e.m. et du couple
- II.4 Ensemble balais-collecteur
- II.5 Amélioration des performances
- II.6 F.e.m. et couple
 - Représentation développée des f.e.m.
 - Expression générale de la f.e.m. et du couple

▶ III. La MCC : Convertisseur d'énergie

- III.1 Symboles de la MCC
- III.2 Caractéristiques f.e.m.-flux inducteur et d'induit tension-courant
- III.3 Analyse des puissances
- III.4 Bilan des puissances dans le cas de la machine réelle

Principe physique

I. Principe physique et mise en oeuvre technologique
II. Constitution
III. La MCC : Convertisseur d'énergie



Création d'une f.e.m.

- D'après la loi de Faraday-Lenz (convention générateur)

$$e = -\frac{d\phi}{dt} = -B \cdot L \cdot V$$

- Écriture en convention récepteur

$$u = -e = \frac{d\phi}{dt} = B \cdot L \cdot V$$

Création d'une force

- D'après la loi de Laplace

$$d\vec{F} = I \cdot d\vec{x} \wedge \vec{B}$$

$$\vec{F} = -B \cdot I \cdot L \cdot \vec{y}$$

Les deux phénomènes sont réversibles :

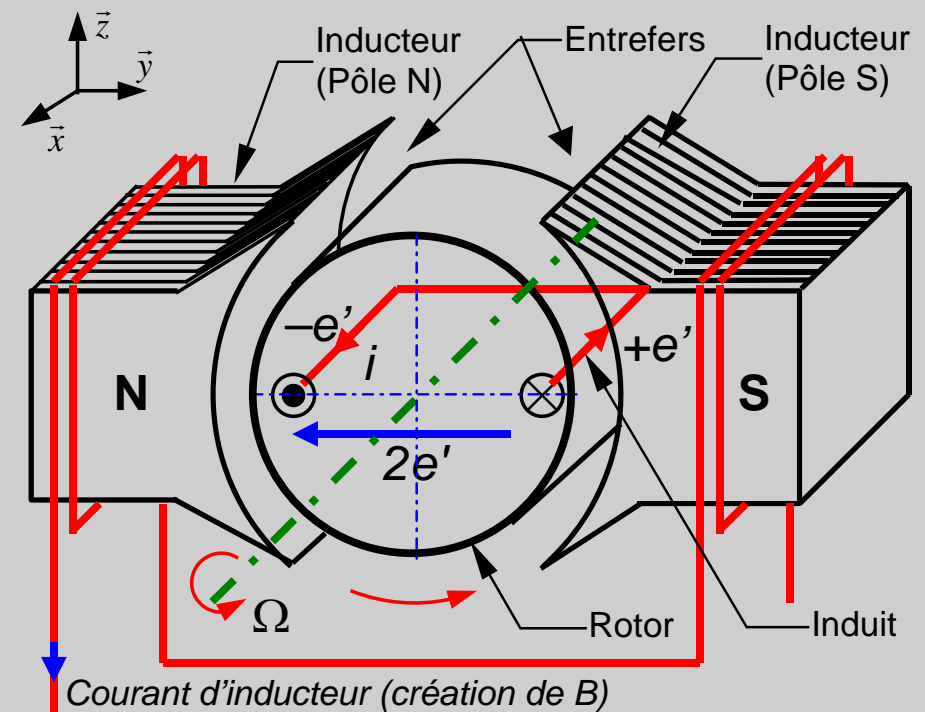
- Le courant I provient du mouvement, résultat de la force F ;
- Le mouvement (vitesse V) crée la f.e.m. E



Organiser une machine

- Créer l'induction suivant une direction principale
 - Avec des bobinages
 - Avec des aimants
- Placer les conducteurs orthogonalement à l'induction
- Assurer la répétitivité de placement des conducteurs
- Permettre le mouvement de l'ensemble autour d'un axe (1 degré de liberté)
- Entraîner l'ensemble à la vitesse Ω

Solution de principe



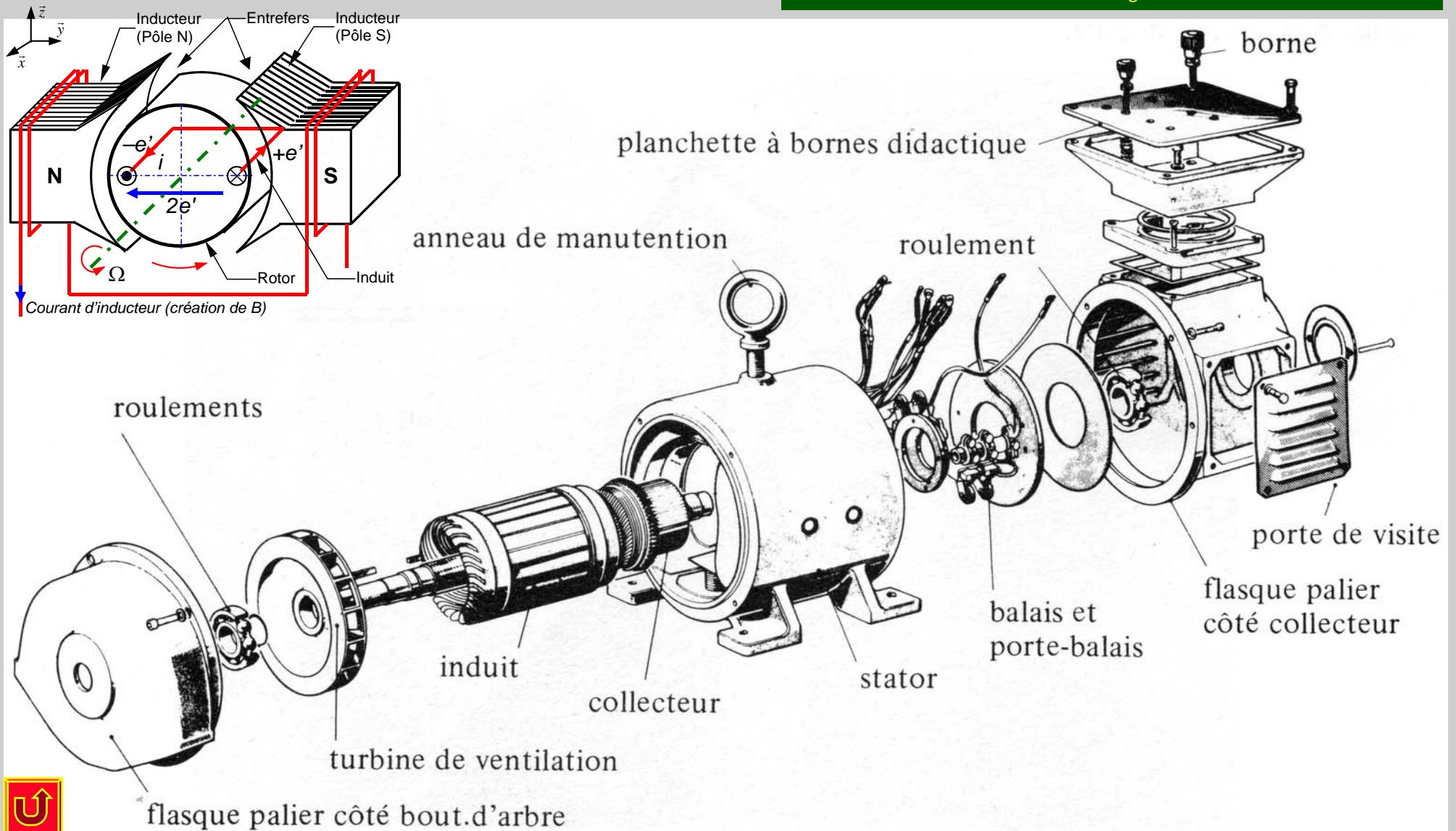
Description générale (1/2)

I. Principe physique et mise en oeuvre technologique

II. Constitution

II.1 Description générale

III. La MCC : Convertisseur d'énergie



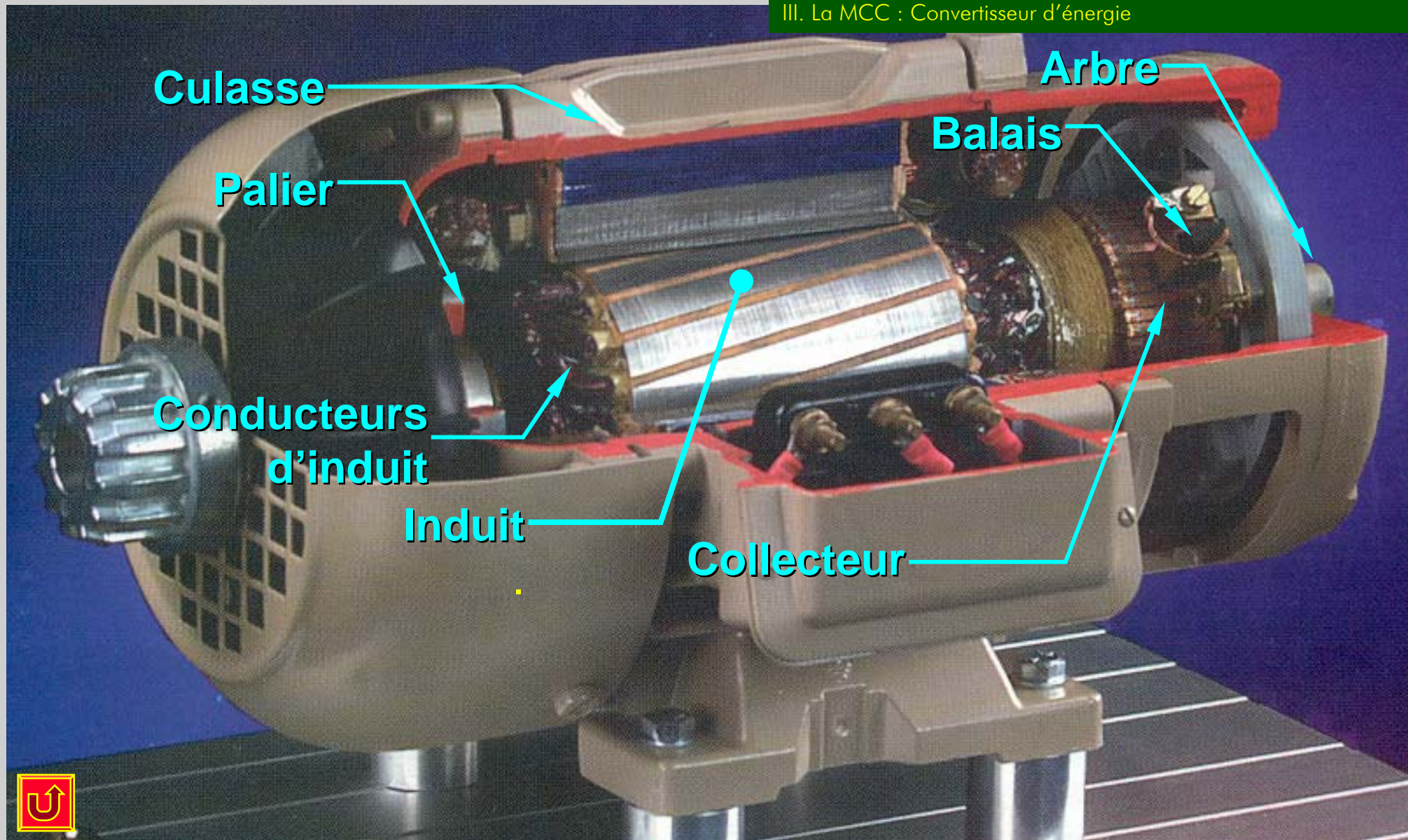
Description générale (2/2)

I. Principe physique et mise en oeuvre technologique

II. Constitution

II.1 Description générale

III. La MCC : Convertisseur d'énergie



Yvan Crévits
Novembre 2005

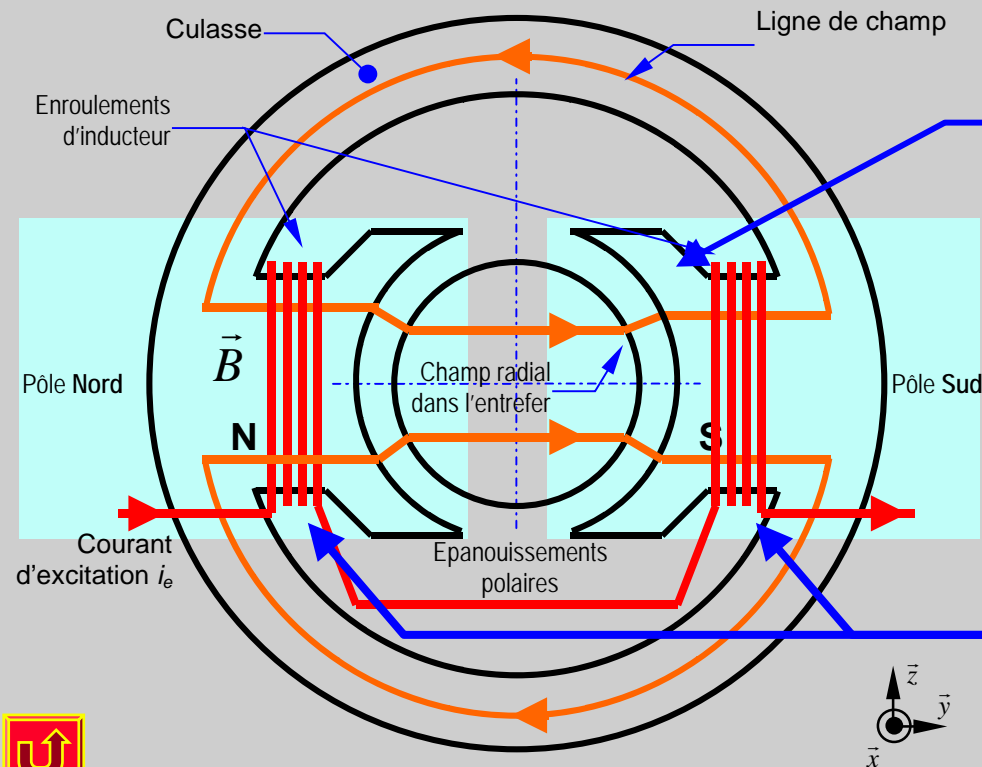
MCC : Constitution et fonctionnement

6 / 22

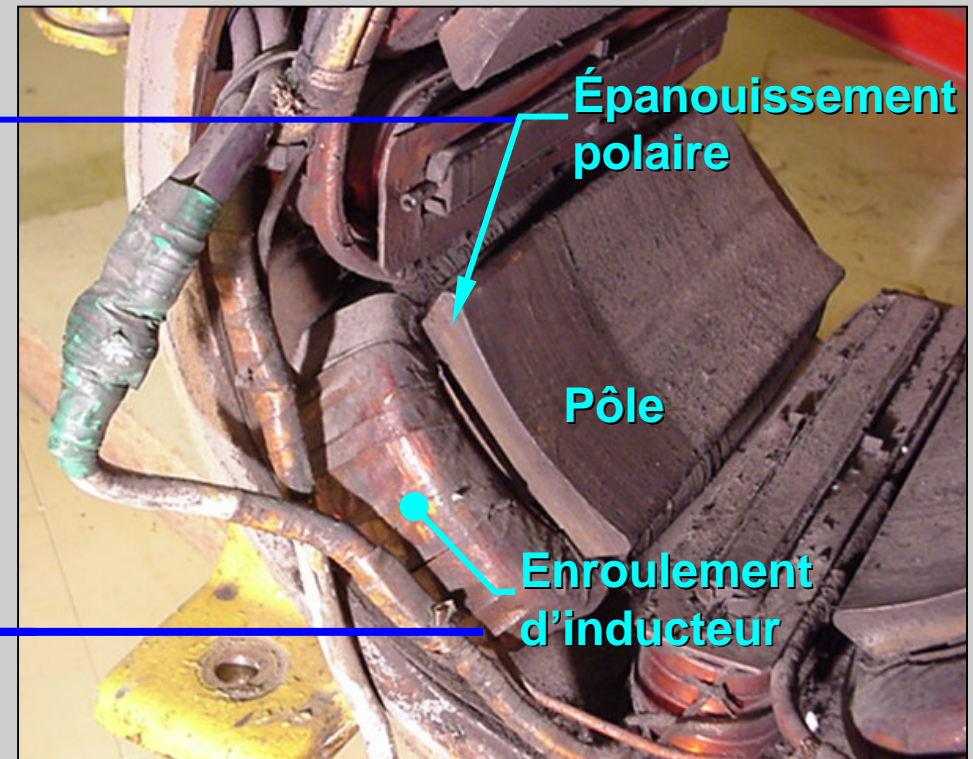
Constitution de l'inducteur

- I. Principe physique et mise en oeuvre technologique
- II. Constitution
 - II.2. L'inducteur**
- III. La MCC : Convertisseur d'énergie

Les éléments sur un schéma de principe



En situation



Constitution de l'induit

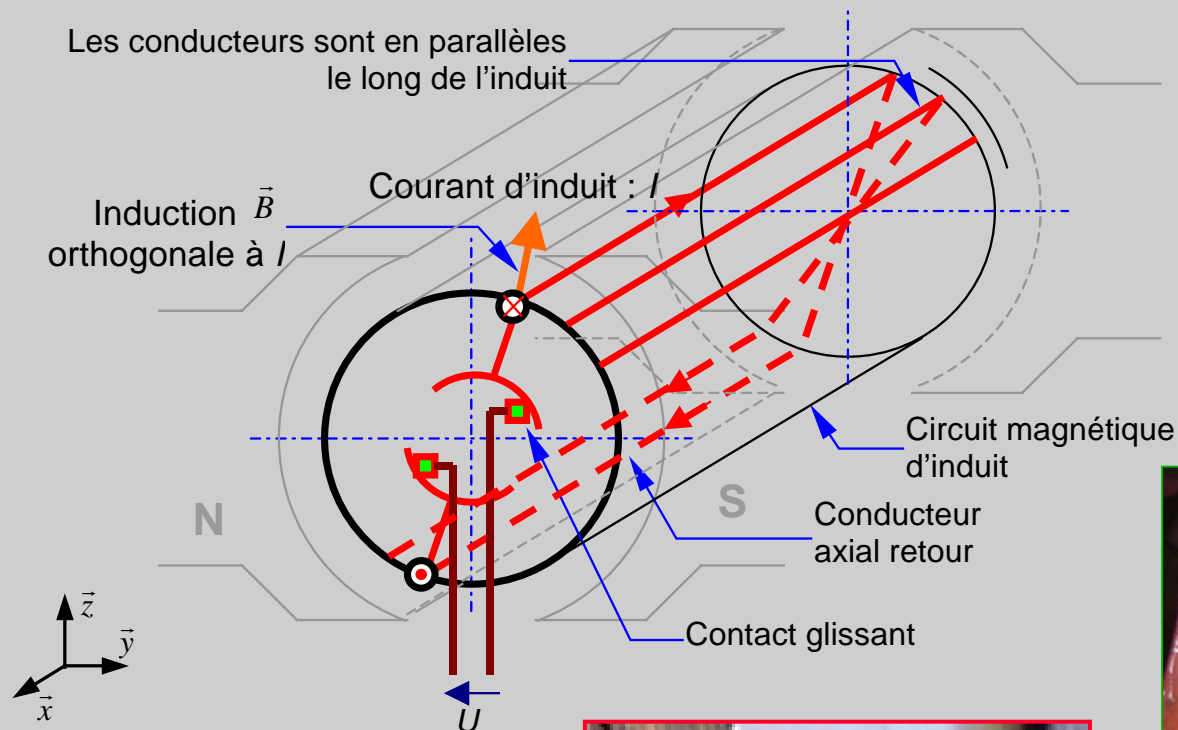
I. Principe physique et mise en oeuvre technologique

II. Constitution

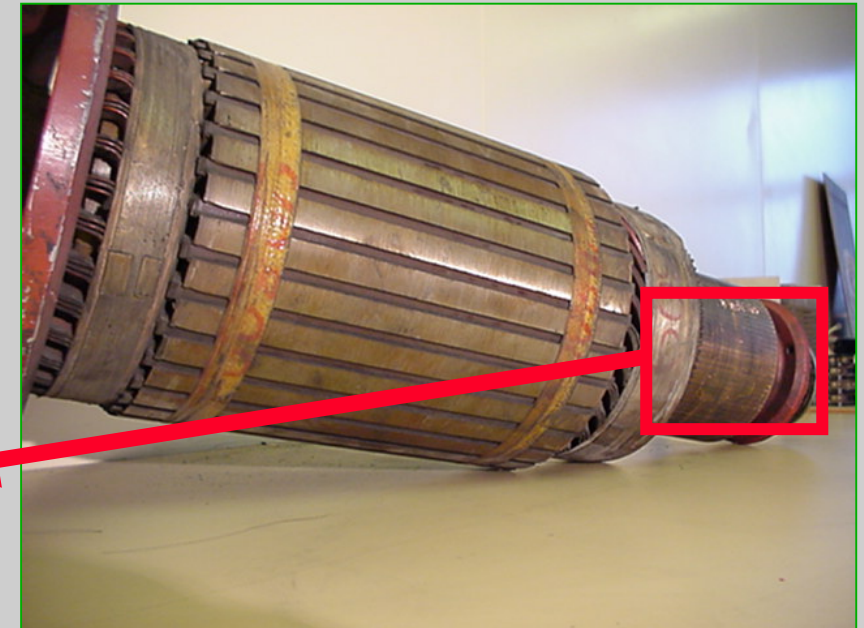
II.3. L'induit : Constitution

III. La MCC : Convertisseur d'énergie

Les éléments sur un schéma de principe



En situation



Vue agrandie



Yvan Crévits
Novembre 2005

MCC : Constitution et fonctionnement

8 / 22

Expression de la f.e.m. (1 spire)

Détermination de l'expression

- Section normale au flux

$$S(t) = 2 \cdot R \cdot L \cdot \sin \Omega t$$

- Flux coupé

$$\phi(t) = B \cdot S(t)$$

- Il en résulte (les signes sont omis)

$$e(t) = \frac{d\phi}{dt} = B \frac{dS}{dt} = 2 \cdot B \cdot R \cdot L \cdot \Omega \cdot \cos \Omega t$$

- Soit

$$e(t) = \Phi \cdot \Omega \cdot \cos \Omega t$$

Conclusion

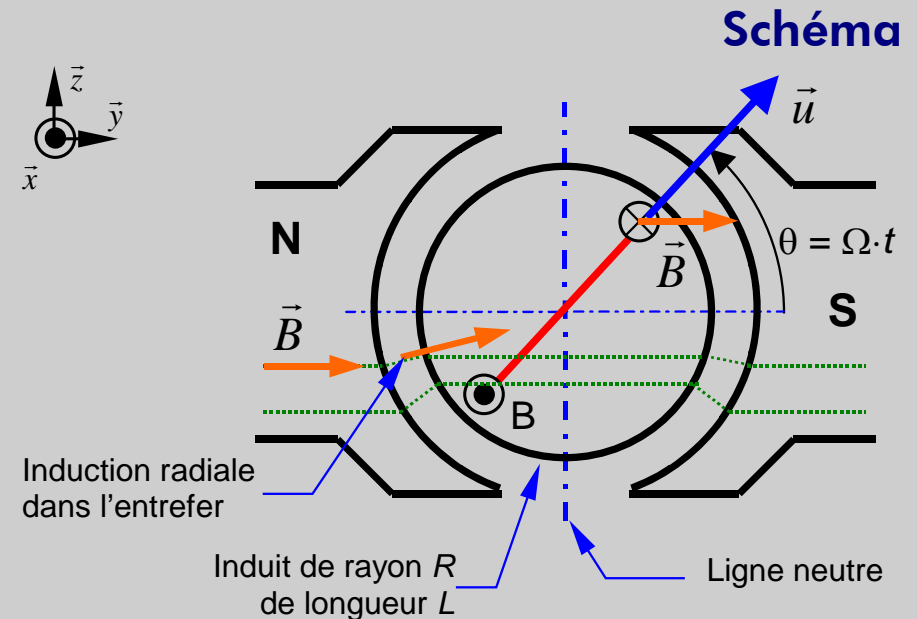
- La f.e.m. créée est sinusoïdale
- Son amplitude dépend :
 - de la vitesse de rotation Ω de la machine
Grandeur externe à la machine
 - Du flux Φ sous un pôle
Grandeur interne à la machine

I. Principe physique et mise en oeuvre technologique

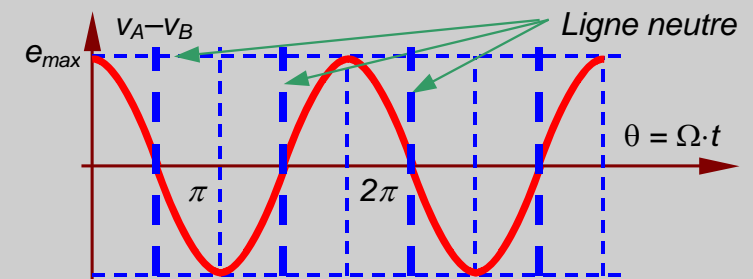
II. Constitution

II.3. L'induit : Expressions de la f.e.m. et du couple

III. La MCC : Convertisseur d'énergie



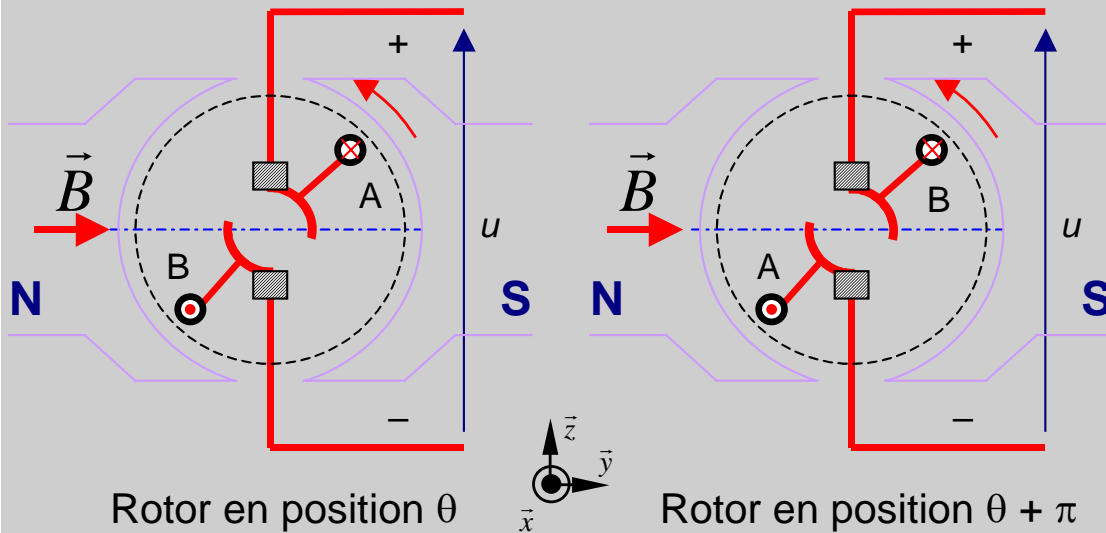
Allure de la f.e.m.



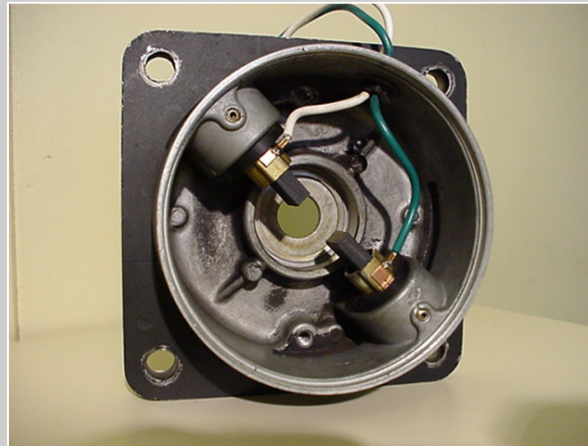
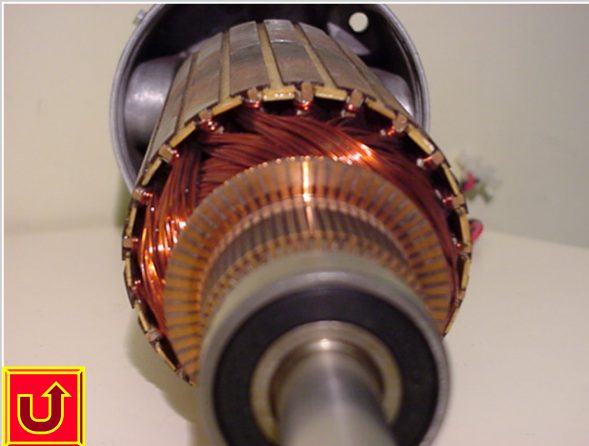
Ensemble balais-collecteur

- I. Principe physique et mise en oeuvre technologique
- II. Constitution
 - II.4. Ensemble balais-collecteur**
- III. La MCC : Convertisseur d'énergie

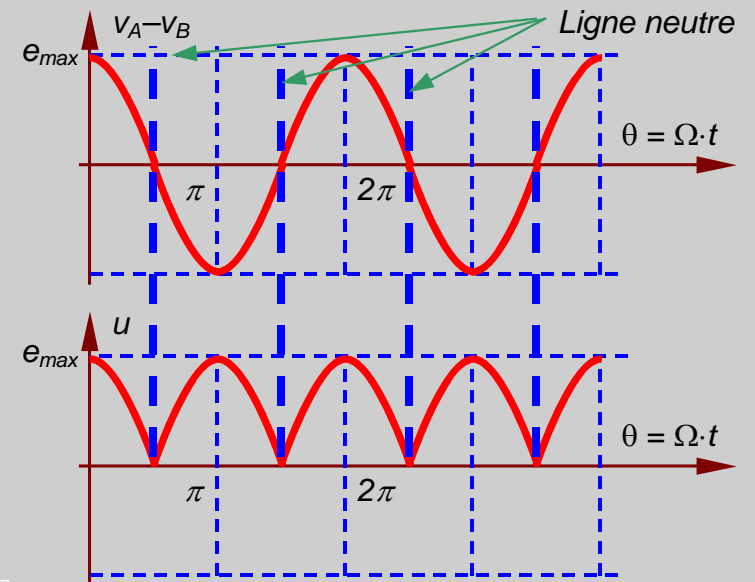
Structure



Vues du collecteur et des balais



Chronogrammes des tensions



**L'ensemble balais-collecteur :
Fonction redressement**

Expression du couple (1 spire)

Détermination de l'expression

- Champ d'induction

$$\vec{B} = B \cdot \vec{y}$$

- Courant dans le conducteur

$$\int_{\text{conducteur}} I \cdot d\vec{l} = -I \cdot L \cdot \vec{x}$$

- Il en résulte la force F

$$\vec{F} = -B \cdot I \cdot L \cdot \vec{z}$$

- D'où le couple électromagnétique

$$\vec{C}_{em} = 2 \cdot R \cdot B \cdot I \cdot L \cdot \cos \Omega t \cdot (-\vec{x})$$

- Soit

$$C_{em} = \Phi \cdot I \cdot \cos \Omega t$$

$$\text{pour } \theta \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$$

Conclusion

- Couple moyen + ondulation
- Son amplitude dépend :
 - Du courant I dans l'induit (externe)
 - Du flux Φ sous un pôle (interne)

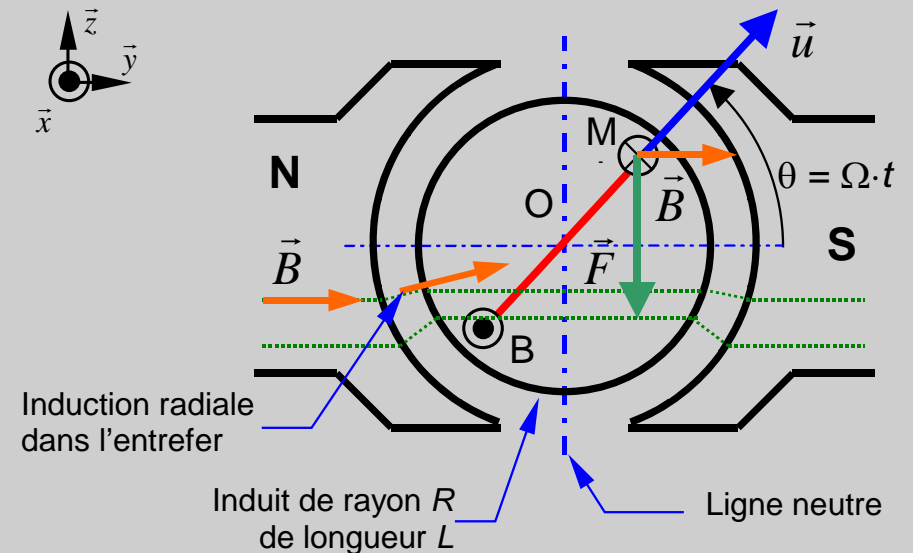
I. Principe physique et mise en oeuvre technologique

II. Constitution

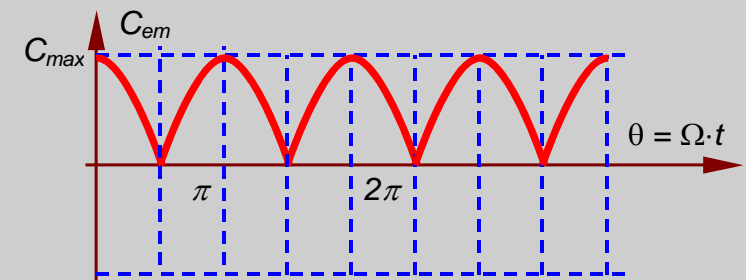
II.3. L'induit : Expressions de la f.e.m. et du couple

III. La MCC : Convertisseur d'énergie

Schéma

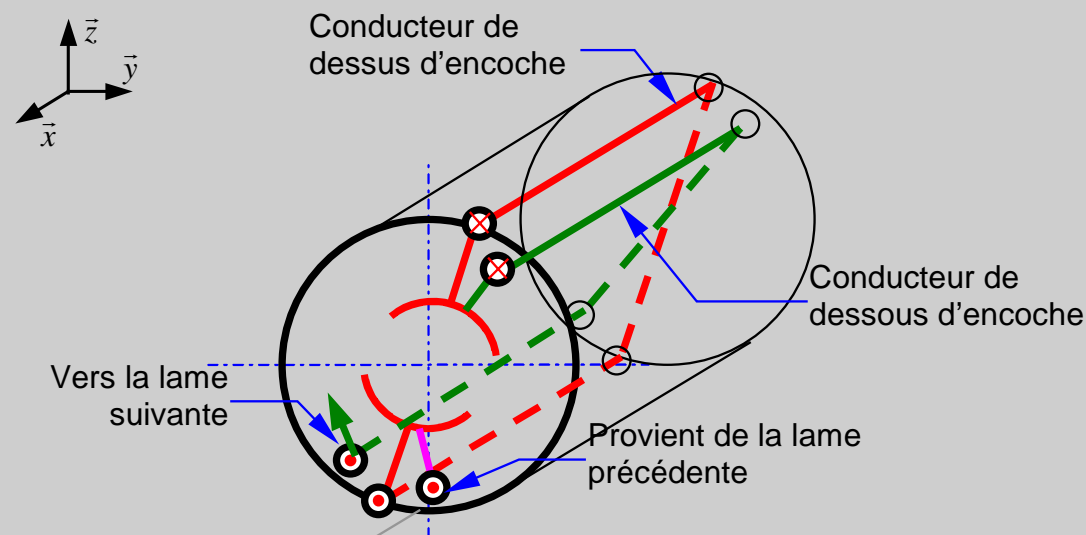


Allure du couple



Augmentation du courant d'induit : Voies d'enroulement

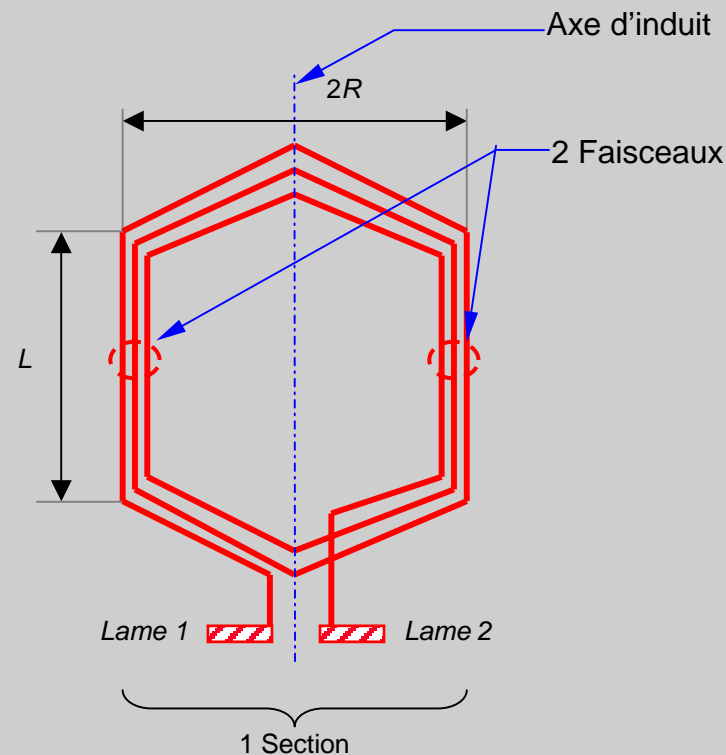
- Les conducteurs sont bobinés en tambour (axialement)
- Deux conducteurs partagent la même encoche (maintien, protection et gain de place)
- Équilibrage des conducteurs de fond et de dessus d'encoche
- Les changements ont lieu sur les lames de collecteur
- Chaque balais voit donc deux spires en parallèle décalées d'un pas d'encoche
- Ces deux spires constituent deux voies d'enroulement (toujours en parallèle) : $\alpha = 1$
- plusieurs prises de balais \Rightarrow plus de voies d'enroulement (2α spires en parallèle)



Davantage de conducteurs actifs : Création de faisceaux

- Réalisation de spires comportant plus de conducteurs
- Addition des f.e.m. de chaque conducteurs en série
- Conséquence : augmentation de la f.e.m. totale

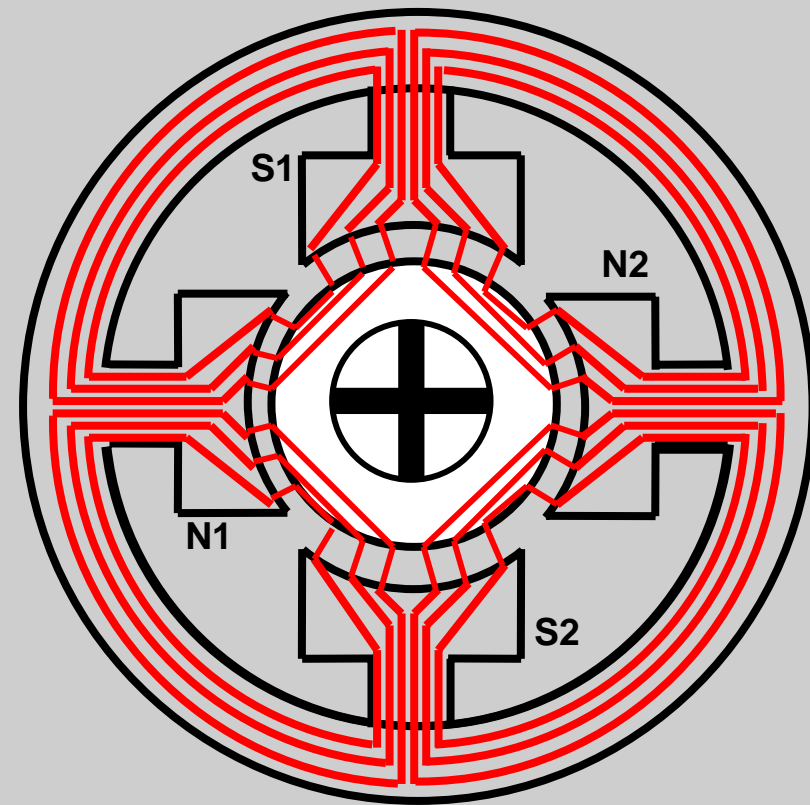
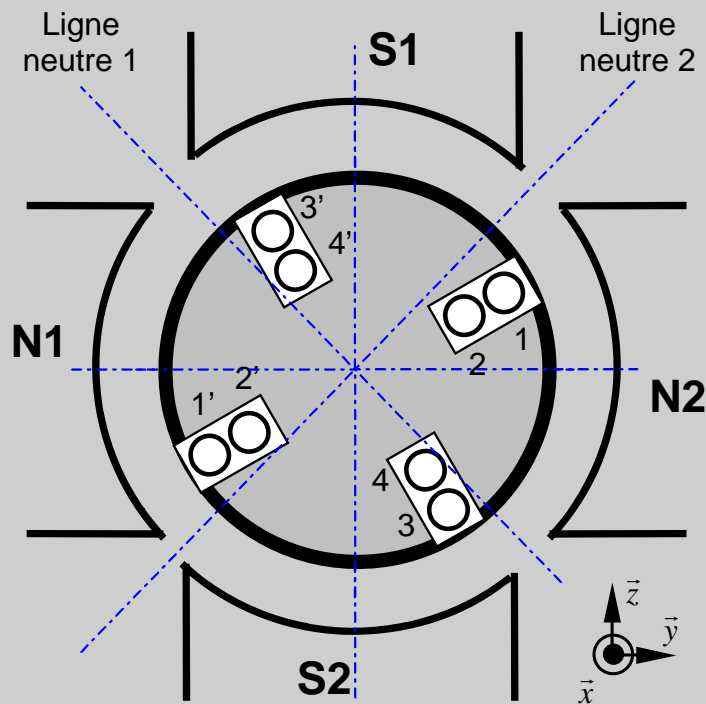
Création du faisceau



Répétition des variations du flux : Machine multipolaire

- Pour augmenter la f.e.m. : Répéter des changements de pôles (donc les variations)
- Donc augmenter le nombre de paires de pôles : 2, 3 ou 4 paires de pôles (et même plus)

Illustrations pour une machine tétrapolaire

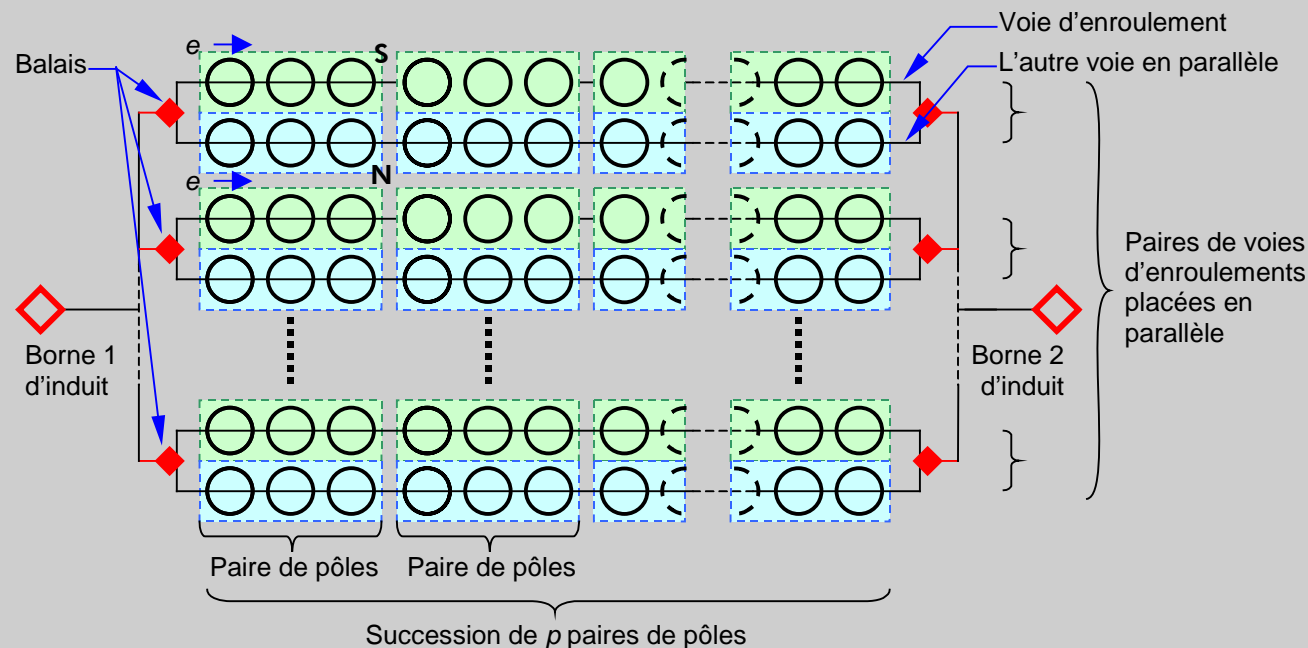


Chaque conducteur est représenté par une f.e.m.

■ On peut donc tracer le schéma électrique

- Les f.e.m. sont interconnectées en série,
- Les voies d'enroulement apparaissent par paires : Une par paire de balais
- Chaque paire de voies d'enroulements est placée en parallèle avec les autres,
- Le tout abouti à la connexion de sortie d'induit.

D'où le schéma (avec la représentation des pôles)



Expression générale de la f.e.m. et du couple

I. Principe physique et mise en oeuvre technologique
II. Constitution
II.6. F.e.m. et couple
III. La MCC : Convertisseur d'énergie

Force électromotrice (f.e.m.)

$$E = \frac{2p}{2a} N \cdot \Phi \cdot \frac{\Omega}{2\pi}$$

E : f.e.m. d'induit en V

N : nombre total de conducteurs

Φ : flux sous un pôle (en Webers, Wb)

Ω : vitesse de rotation du rotor (en rd/s)

p : nombre de paires de pôles

a : nombre de paires de voies d'enroulement

Couple électromagnétique

$$C_{em} = \frac{2p}{2a} N \cdot \Phi \cdot \frac{I}{2\pi}$$

C_{em} : couple électromagnétique délivré par la MCC

N : nombre total de conducteurs

Φ : flux sous un pôle (en Webers, Wb)

I : courant (total) d'induit (en A)

p : nombre de paires de pôles

a : nombre de paires de voies d'enroulement

Constante de couple et de f.e.m.

$$K_E = K_C = \frac{2p}{2a} \frac{N \cdot \phi}{2\pi}$$

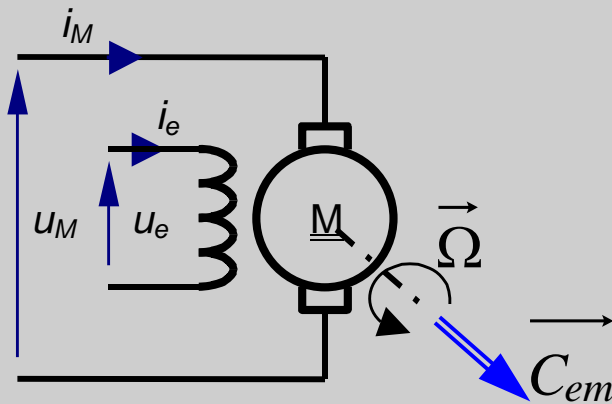
$$E = K_E \Omega \quad K_E \text{ en V} \cdot \text{s/rd}$$

$$C_{em} = K_C I \quad K_C \text{ en N} \cdot \text{m/A}$$



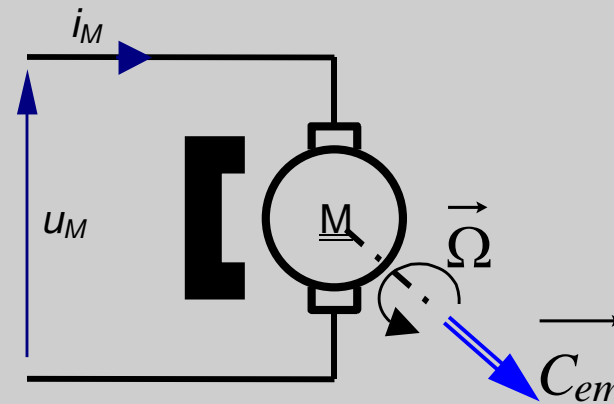
Symboles de la MCC

- Inducteur à enroulement ou à excitation



- L'enroulement d'excitation est alimenté en courant
- Possibilité de réglage du flux

- Inducteur à aimants permanents

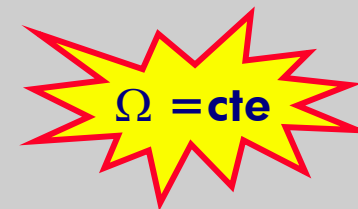
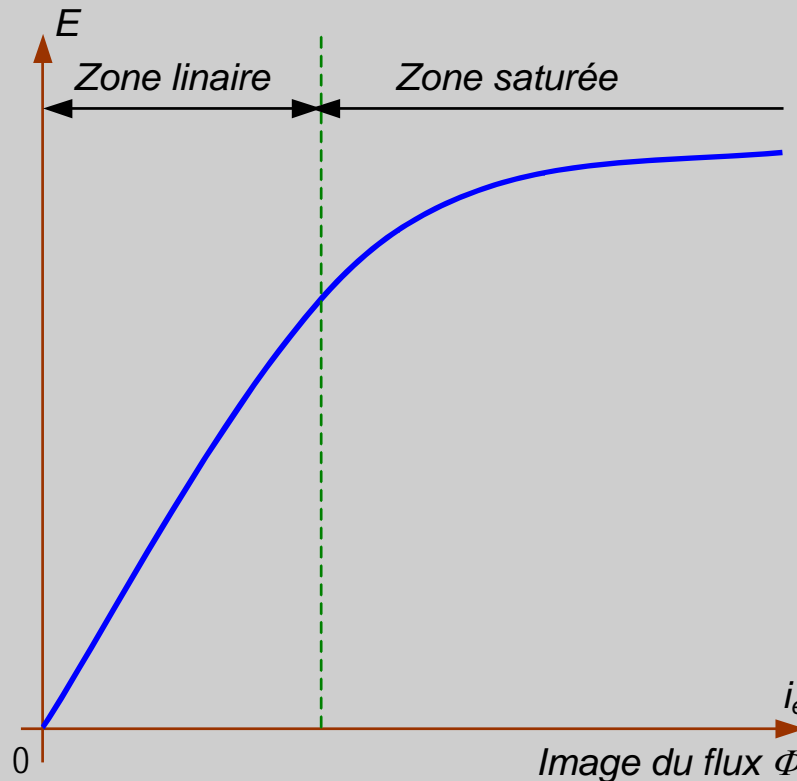


- L'induction, donc le flux sont fixés par construction
- Aucun réglage n'est possible



Caractéristique f.e.m.-courant d'excitation (ou flux) à $\Omega = \text{cte}$

- Uniquement valable pour les machines à excitation
- Une zone linéaire (comportement linéaire du matériau)
- Une zone saturée (occasionnée par le matériau ferromagnétique)



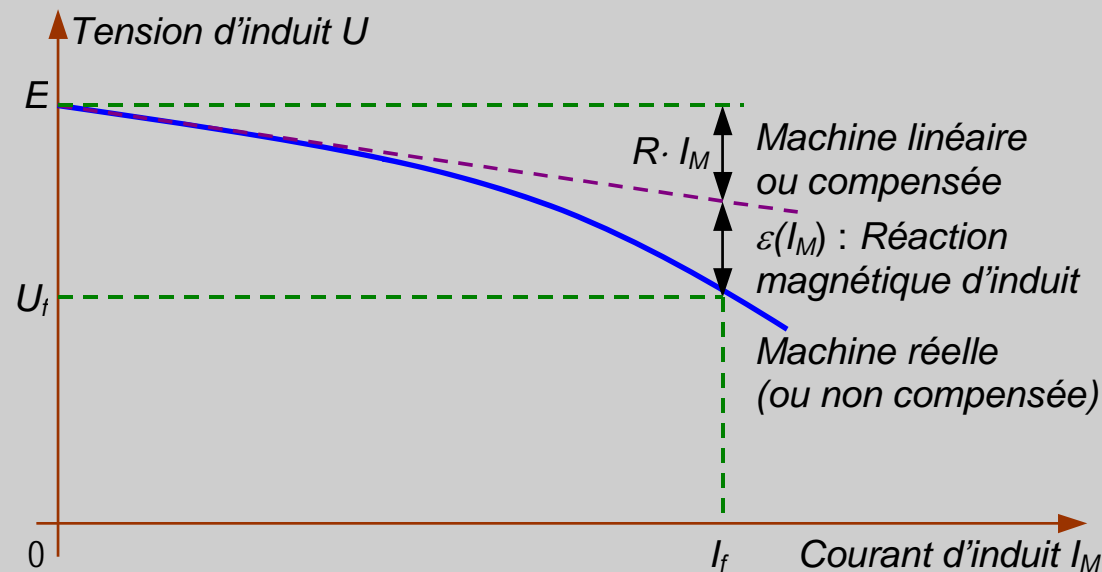
Conclusion

- Travailler en zone linéaire (ex. capteur)
- En puissance, limiter l'usage de la zone saturée



Caractéristique d'induit tension-courant

- Avec la croissance du courant occasionnée par le couple, la tension diminue :
 - À cause de la chute de tension ohmique $R \cdot I_M$
 - À cause de l'influence du courant d'induit sur le flux d'excitation, c'est la **réaction magnétique d'induit** $\varepsilon(I)$
- Sur les machines modernes, des enroulements supplémentaires appelés **pôles auxiliaires** éliminent la réaction magnétique d'induit
 - On dit que les **machines** sont **compensées**



$\Omega = \text{cte}$



Machine parfaite : Modèle = f.e.m.

Analyse des puissances

- Puissance électrique (ex. : En entrée)

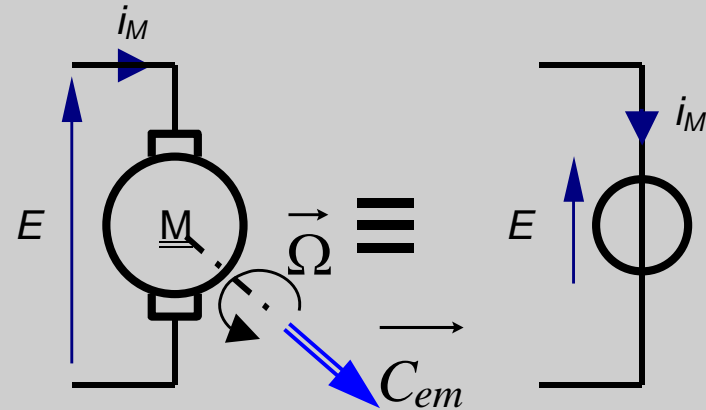
$$P_e = E \cdot I_M$$

- Puissance mécanique (ex. : En sortie)

$$P_m = \overrightarrow{C_{em}} \cdot \overrightarrow{\Omega} = C_{em} \cdot \Omega$$

- Pour une machine parfaite (pas de pertes)

$$P_e = P_m \quad \text{donc} \quad E \cdot I_M = C_{em} \cdot \Omega$$

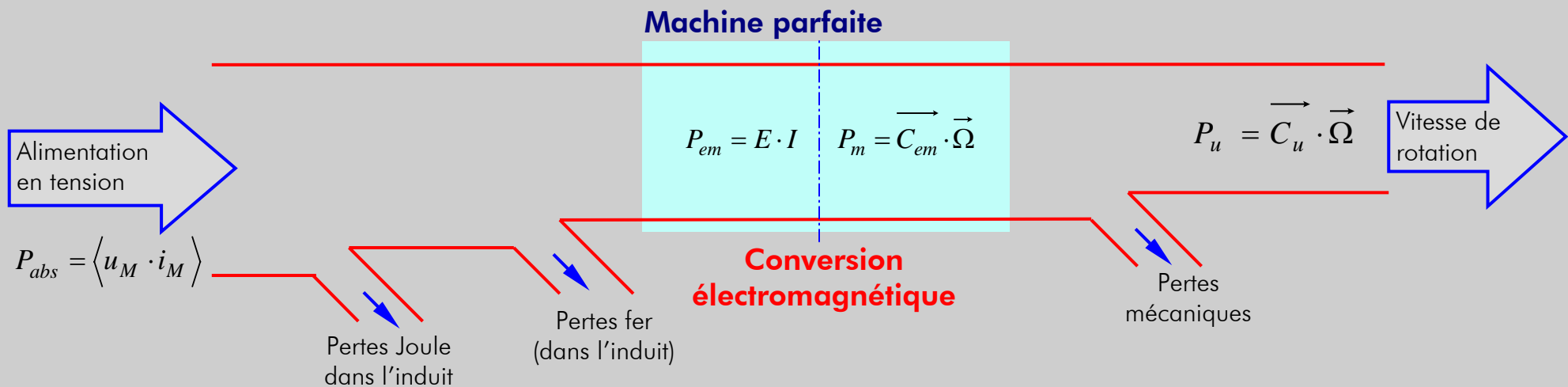


Interprétation des puissances (au sens du système « MCC »)

- $P_m > 0$ ou $P_e < 0$: Fonctionnement en génératrice
 - Générateur électrique ($P_e < 0$) et récepteur mécanique ($P_m > 0$)
- $P_e > 0$ ou $P_m < 0$: Fonctionnement en moteur
 - Générateur mécanique et récepteur électrique



Bilan des puissances dans le cas de la machine réelle



"That's all Folks!"

Fin de

**« Machine à courant continu :
Constitution et fonctionnement »**

Des questions ?